

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 05302182  
 PUBLICATION DATE : 16-11-93

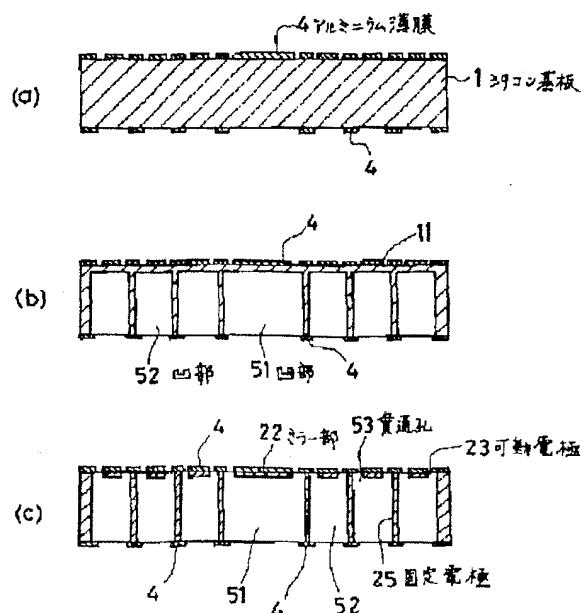
APPLICATION DATE : 13-11-92  
 APPLICATION NUMBER : 04302734

APPLICANT : FUJI ELECTRIC CO LTD;

INVENTOR : GOTOU TOMOAKI;

INT.CL. : C23F 4/00 F03G 7/00 H01L 21/302  
 H02N 1/00

TITLE : PRODUCTION OF COMB-SHAPED ACTUATOR



ABSTRACT : PURPOSE: To control the interelectrode gap to the  $\mu$ m order by forming the combined comb-shaped movable electrode and fixed electrode from a substrate.

CONSTITUTION: A silicon substrate 1 coated with an Al mask 4 or a silver oxide-film mask is dry-etched with a mixture of gaseous  $SF_6$  and  $O_2$  and worked. Consequently, the recesses 51 and 52 having a vertical side wall and a throughhole 53 are formed, and a comb-shaped actuator consisting of a movable part having optional shape and size and a fixed part is obtained. Further, a silicon oxide film as an etching stop layer is embedded in the substrate to attain higher-precision working.

COPYRIGHT: (C)1993,JPO&Japio

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-302182

(43)公開日 平成5年(1993)11月16日

(51)Int.CI.<sup>5</sup> 識別記号 庁内整理番号 技術表示箇所  
C 2 3 F 4/00 E 8414-4K  
F 0 3 G 7/00 H  
H 0 1 L 21/302 F 8518-4M  
H 0 2 N 1/00 8525-5H

審査請求 未請求 請求項の数9(全8頁)

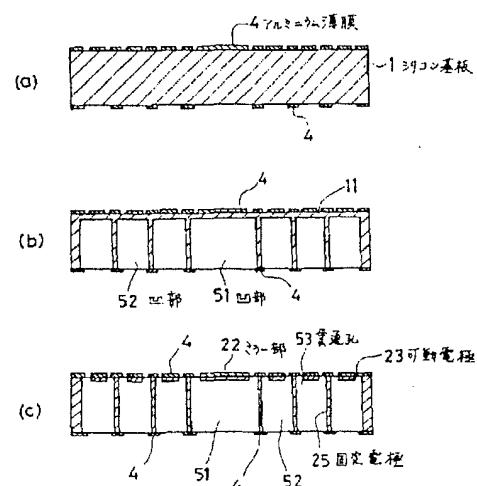
(21)出願番号	特願平4-302734	(71)出願人	000005234 富士電機株式会社 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号
(22)出願日	平成4年(1992)11月13日	(72)発明者	後藤 友彰 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内
(31)優先権主張番号	特願平4-36779	(74)代理人	弁理士 山口 嶽
(32)優先日	平4(1992)2月25日		
(33)優先権主張国	日本 (JP)		

(54)【発明の名称】 櫛歯式アクチュエータの製造方法

(57)【要約】

【目的】 櫛歯式の可動電極と固定電極を組み合わされた状態で基体から作り出して、電極間隙を $\mu\text{m}$ オーダーにすることができるようとする。

【構成】 SF<sub>6</sub>ガスとO<sub>2</sub>ガスの混合ガスを用いてのドライエッチングによりAIマスクあるいはシリコン酸化膜マスクを設けたシリコン基体を加工する。これにより垂直な側壁をもつ凹部ないし貫通孔が形成でき、任意の形状、寸法の可動部と固定部とからなる櫛歯式アクチュエータが得られる。さらに、エッチングストップ層としてのシリコン酸化膜をシリコン基体に埋設することにより一層高精度の加工が可能になる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】一つのシリコン基体の両面からの加工により狭い間隔を介して組合せられた歯歯式の可動電極と歯歯式の固定電極をそれぞれ有する可動部と固定部を作り出す歯歯式アクチュエータの製造方法において、加工を六沸化矽黄と酸素の混合ガスを用いたドライエッティングにより行うことを特徴とする歯歯式アクチュエータの製造方法。

【請求項2】ドライエッティングの際の両面のマスクがアルミニウム被膜よりなる請求項1記載の歯歯式アクチュエータの製造方法。

【請求項3】ドライエッティングの際の両面のマスクがシリコン酸化膜よりなる請求項1記載の歯歯式アクチュエータの製造方法。

【請求項4】可動電極と固定電極の間の間隙を形成する加工の際のマスクのみがシリコン酸化膜よりなる請求項1記載の歯歯式アクチュエータの製造方法。

【請求項5】シリコン酸化膜よりなるエッティングストップ層を介して重ねられた二つの部分を有するシリコン基体を用い、両面からそのエッティングストップ層まで達する凹部を形成したのち、凹部間に残存したエッティングストップ層のシリコン酸化膜を除去する請求項1ないし4のいずれかに記載の歯歯式アクチュエータの製造方法。

【請求項6】エッティングストップ層を介して重ねられた二つの部分の双方が単結晶シリコンよりなる請求項5記載の歯歯式アクチュエータの製造方法。

【請求項7】中間層を介して重ねられた二つの部分の一方が単結晶シリコン、他方が多結晶シリコンよりなる請求項5記載の歯歯式アクチュエータの製造方法。

【請求項8】シリコン基体の一面からのドライエッティングによる加工によって形成される凹部の開口面積に差のある場合に、開口面積の大きい凹部の形成される部分をシリコン基体のそれに覆われた部分がサイドエッティングにより残存しない程度の細い幅のマスクにより複数のエッティング領域に分割する請求項1ないし7のいずれかに記載の歯歯式アクチュエータの製造方法。

【請求項9】一面からのドライエッティングによる加工によって形成される凹部の開口面積に差のある場合に、開口面積の大きい凹部を形成と開口面積の小さい凹部の形成を別のドライエッティング工程で行い、それぞれの工程において加工の対象とならない部分をマスクによって使う請求項1ないし7のいずれかに記載の歯歯式アクチュエータの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、1個のシリコン基体を加工して歯歯式の固定電極と可動電極とが組合せられた状態で作製する歯歯式アクチュエータの製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】例えば光を走査するためのミラーの駆動に用いる歯歯式アクチュエータは、図2に示すような可動部21のミラー22と一緒に形成している歯歯式可動電極23が、固定部24の歯歯式固定電極25の間に、拡大図Aに示すように組合せられており、可動部21を支持部26により支持する固定部24がガラス基板27の上に取り付けられている。そして、表面に絶縁膜を被着した両電極23、25の間に電圧を印加することにより生ずる静電気的な力で可動部21が動き、ミラー22が回転する。このようなアクチュエータでは、可動電極23と固定電極25とができるば5μm程度の間隙をもって近接していることが要求される。従って、別個に加工された可動部21と固定部24を可動電極23と固定電極25が変形しないで噛み合うように組合せることは難しいので、できれば一つの基体から両者がμmオーダの間隙を介して組合せられた状態で加工することが望ましい。そのためには、微細加工が可能なシリコン基体から作り出すことが考えられる。

【0003】シリコン基体に、両者から加工を施し、所定の大きさの歯歯式アクチュエータを組合せられた状態で製造する従来の方法は、図3(a)に示すように、単結晶シリコン基板1の両面にシリコン酸化膜2およびシリコン空化膜3を被加工部が露出するように被着し、図3(b)に示すように、まず浅掘り側からアルカリ系溶液でシリコン基板1をエッティングして凹部を形成し、つぎに図3(c)に示すように、深掘り側から沸酸系溶液でエッティングして凹部および貫通孔を形成し、ミラー部22および可動電極23と固定電極25を作り出そうというものである。あるいは、図4(a)、(b)、(c)に示すように、まず深掘り側から上記と同様に加工を行い、つぎに浅掘り側を加工して歯歯式アクチュエータを製造しようとするものである。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】上記のような湿式エッティングでシリコン基体を加工する方法では、エッティング液に沸酸系溶液を用いるため、エッティングが等方的に進行し、図示のような丸みのついた形状にしか加工できない。このことは固定電極25と可動電極23とをできるだけ近接して組合せたい歯歯式アクチュエータの製造方法としては不適である。そこで、垂直な側壁を形成するために、単結晶シリコン基板の面方位ごとにエッティング速度が異なることを利用したアルカリ系溶液により加工を行えば、面方位に応じて正確な加工が可能であるが、形状が面方位に依存するため、任意の大きさで、任意の形状の歯歯式アクチュエータを形成することは困難である。また、シリコン基板の面方位が限定されるため、設計上で限定条件が多くなるという欠点がある。

【0005】さらに、湿式エッティングにおいてはマスクの厚さに限度があるため深いエッティングができず、また、加工する側と反対側の面を保護する必要があるが、深い加工のためのエッティング操作に耐える保護を行なうこ

とも困難である。従つて、温式エッティングは深い加工を要する歯冠式アクリルエーテの製造には利用できないという欠点がある。

〔0006〕本発明の目的は、上述の欠点を除去し、シリコン基板を加工して所定の寸法形状を有する固定部と可動部を同時に精度よく形成することのできる歯アクリュエータの製造方法を提供することにある。

[0 0 0 7]

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、本発明は、一つのシリコン基体の両面からの加工により狭い間隔を介して組合せられる歯式の可動電極と歯式の固定電極をそれぞれ有する可動部と固定部を作り出す歯式アクチュエータの製造方法において、加工を六分化硫黄と酸素の混合ガスを用いたドライエッティングにより行うものとする。そしてドライエッティングの際のマスクが両面共アルミニウム薄膜よりなっても、あるいはシリコン酸化膜よりなってもよい。また可動電極と固定電極の間の間隙の加工の際のマスクのみシリコン酸化膜よりなることも有効である。さらに、シリコン酸化膜よりなるエッティングトップ層を介して重ねられた二つの部分を有するシリコン基体を用い、両面からそのエッティングトップ層まで達する凹部を形成したのち、凹部間に残存するエッティングトップ層のシリコン酸化膜を除去することも有効である。そのエッティングトップ層を介して重ねられた二つの部分は、双方が単結晶シリコンよりなってもよく、一方が単結晶シリコン、他方が多結晶シリコンよりなってもよい。

【0008】 そのほか、シリコン基体の一面からのドライエッティングによる加工によって形成される凹部の開口面積に差のある場合に、開口面積の大きい凹部の形成される部分をシリコン基体のそれに覆われた部分がサイドエッティングにより残存しない程度の細い幅のマスクにより複数のエッティング面積に分割すること、あるいは開口面積の大きい凹部の形成と開口面積の小さい凹部の形成を別のドライエッティング工程で行い、それぞれの工程において加工の対象とならない部分をマスクによって覆うことが有効である。

[0009]

【作用】SF<sub>6</sub>とO<sub>2</sub>の嵌合ガスを用いたドライエッティングの反応機構は、本出願人の特許出願に係る特開平2-275626号公報に記載されているように、次のように考えられる。まず、SF<sub>6</sub>とO<sub>2</sub>のそれぞれの反応ガスは、プラズマ中で解離し、FラジカルとOラジカルが生成される。つぎに、プラズマ中のOラジカルが被加工部ウェットエッティングのSi原子と反応し、中間生成物としてSiOが生成される。この中間生成物のSiOとFラジカルとが反応し、SiF<sub>4</sub>が生成される。このSiF<sub>4</sub>は沸点が非常に低いため、自然にガスとなって反応室外に排気される。この反応機構によりシリコンが加工される。その際、反応生成物が残らないため、微細な加工が可能に

なる。そして、形成された凹部の側壁はプラズマ中に残存するOラジカル等によって一時的に酸化され、このときの一時的な酸化物により凹部側壁は保護されながらエッチングが進行する。この状態はシリコン基板に所定の形状の凹部ないし貫通孔が形成されるまで保持されるので、凹部あるいは貫通孔の側壁はシリコン基体の正面に垂直になる。

〔0 0 1 0〕また、このようなSF<sub>6</sub> + O<sub>2</sub>の混合ガスを用いたドライエッチングにおいてはシリコンとシリコン酸化膜との選択比が100以上もある。従って、エッチングで形成される凹部のシリコン基体中に埋設されているエッチングストップ層のシリコン酸化膜に到達したことを、例えばプラズマの発光スペクトル強度をモニターすることで検知し、その点を基準にして、さらにオーバーエッチすることで所定の大きさの垂直な側壁をもつ凹部を形成することができる。

{0011}

【実施例】以下、図を引用して本発明のいくつかの実施例について説明する。図1(a)～(c)に示した実施例では、まず厚さ約300  $\mu\text{m}$ のシリコン基板1の両面に、厚さ約1  $\mu\text{m}$ のアルミニウムからなる薄膜を形成し、さらに、シリコン基板1の被加工部が露出するように磷酸等のエッチング液を用いてSi基板上にAl薄膜4のマスクパターンを形成する(図1(a))。つぎに、図5に示すような陽極結合方式の平行平板型ドライエッチング装置を用いて片面ずつエッチングを行う。この装置は、本出願人の特許出願に係る特開平2-280324号公報に記載されているもので、反応室31内にステージを兼ねる下部電極32と5～100mmの範囲にある距離離れて上部電極33が対向している。反応室の底板34の周辺部に分散して設けられた排気管35が底板と平行に下部電極32の中心に向かって開口している。上部電極33にはマッチングチューナ36を介して高周波電源37が接続されている。反応室31の頂部38と上部電極33の接続体39との間隙40が反応ガス41の導入口となる。このような陽極結合方式の平行平板型ドライエッチング装置の反応室31内の下部電極ステージ32上に、図1(a)に示したようなAlマスクパターン4を形成したSi基板1を置き、反応室31内にSF<sub>6</sub>とO<sub>2</sub>を7対3の割合で混合した反応ガス41を導入口40から流入させ、反応室31内を約50Paの圧力に保持し、下部電極32と対向した上部電極33との間に約1 W/cm<sup>2</sup>の高周波電力を印加して、露出した被加工部のシリコンとプラズマ42内に残存するラジカルや反応ガスイオンとの間に物理化学的反応等を起こさせることで基板1の被加工部からSiを除去し、Si基板1に厚さ1  $\mu\text{m}$ だけの底部11を残して、所定の大きさで側壁が垂直な形状をもつ凹部51、52を形成する(図1(b))。なお、SF<sub>6</sub>とO<sub>2</sub>の混合ガス中のO<sub>2</sub>の混合比は0～60%の範囲で、反応室の圧力は5～150Paの範囲で、また高周波電力は0.3～2.0 W/cm<sup>2</sup>の範囲で選定できる。つぎに、シリコン基板1を

裏返して凹部51、52が下方に来るよう電極ステージ32上に置き、Si基板を同様に加工して所定の大きさで側壁が垂直な貫通孔53を形成する(図1(c))。これにより厚さ10μm、幅130μmの可動電極23と厚さ20μm、高さ300μmの固定電極25が10μmの間隙をおいて組合せられた状態の可動部と固定部をもつ歯式アクチュエータの複数個を同時に形成できる。可動部のミラー部22は凹部51に対向して形成される。

【0012】上の実施例では最初に深掘り加工を行って凹部51、52を形成し、次に浅掘り加工を行って貫通孔53を形成したが、逆に浅掘り加工を先に行っててもよい。また、深さ10μm程度の浅掘り加工は、陰極結合方式のドライエッティング装置を用いた反応性イオンエッティング(RIE)方法によっても加工できる。このように加工順序の入れ換えあるいは加工方法の変更が可能なことは、以下の各実施例においても同様である。

【0013】図6(a)～(c)に示した実施例では、二面上のマスクパターンはシリコン酸化膜2で弗酸などのエッティング液により形成し、他面上のマスクパターンはAl膜4で形成する(図6(a))。こうして図1について述べた実施例と同様に凹部51、52貫通孔53を加工し、可動電極23および固定電極25をもつ歯式アクチュエータを形成する(図6(b)、(c))。シリコン酸化膜2をマスクに用いると、Alマスクに較べてサイドエッティング量が半分になるため、この実施例のように可動電極23と固定電極25の間の狭く長い貫通孔53を形成する浅掘り加工のためのマスクに用いることが有利である。また、ミラー部22に半導体素子を集積する場合には、Alマスクを用いることができないので絶縁性のシリコン酸化膜を用いることが有利である。ただし、シリコン酸化膜2は、SF<sub>6</sub>とO<sub>2</sub>の混合ガスを用いたドライエッティングにおけるSiとの選択比がAlに比して小さいため、深い凹部の加工や厚い基板への貫通孔の加工における両面のマスクに用いることはできないが、200μm程度以下の厚さのシリコン基板への加工の際には両面のマスクに用いることができる。

【0014】図7(a)～(c)はシリコン酸化膜をエッティングストップ層として用いた実施例を示す。この場合は、シリコン基板1の上にシリコン酸化膜2を介して厚さ1μmのシリコン層6が積層されている。このような基体は、2枚の単結晶シリコン板を酸化膜を介して密着させ、加熱してはり合わせたのち、必要に応じて研削によって所定の厚さにすることにより容易に作ることができる。この場合、両面にアルミニウムマスク4を設け(図(a))、上記の実施例と同様に深掘り加工(図7(b))および浅掘り加工(図7(c))で行うと、シリコンとシリコン酸化膜のドライエッティングにおける選択比が100以上あり、どの面からのエッティングもシリコン酸化膜2で停止する。従って、このあとシリコン酸化膜2をオーバーエッティングなどで除去すれば、所定の寸法、形状の固

定部と可動部の分離した歯式アクチュエータが形成できる。この実施例においても、シリコン基板1の厚さが200μm以上あるときは、シリコン層6の加工のための浅掘り側のマスクをシリコン酸化膜で形成することも有効である。また厚さ200μm以下の場合は両面のマスクをシリコン酸化膜に置き換えてよい。

【0015】図8(a)～(c)に示した実施例では、シリコン酸化膜のエッティングストップ層を有する基体を、例えば厚さ300μmのシリコン基板1の一面上にシリコン酸化膜を形成し、その上に厚さ10μmの多結晶シリコン層7を積層することによって形成する。このあと、両面にアルミニウム膜のマスク4を形成し(図8(a))、上記の実施例と同様にドライエッティングによる加工を行うと、図7(c)と同様に所定の寸法、形状の凹部51、52、貫通孔53が形成できる(図8(b)、(c))。

【0016】さて、歯式アクチュエータがより小型化されると、ドライエッティングの際に被エッティング面積が異なる部分でエッチレートが異なることがある。すなわち、被エッティング面積が大きい部分のエッチレートが他の部分のそれより大きくなることがある。その効果が大きく効き、均一な深掘り加工が困難な場合がある。そこで、図9(a)～(d)に示す実施例では、ミラー部を残すために被エッティング面積の大きくなる被加工部8には、予めエッティング面積が幅の狭い多数の部分に区分されるようにマスク4を密に形成する(図9(a))。次に図1について述べた実施例と同様の条件で深掘り加工を行う(図9(b))。このとき予めエッティング面積を細かく区分した部分8は他の部分より速く加工されるが、マスクパターンが密であるため、狭い隔壁9が残せず、所定の大きさで側壁が垂直な凹部51が形成される(図9(c))。そして続く浅掘り加工で図7(c)と同様の形状が得られる(図9(d))。また、図のようにシリコン酸化膜2のエッティングストップ層を設けた場合は、被エッティング面積が異なるため部分的にエッティング速度に差が生じても、このシリコン酸化膜で十分吸収され、所定の寸法の垂直凹部が形成できるという利点がある。

【0017】図10(a)～(e)の示す実施例では、深掘り加工側に最初に設けるAlマスク4のパターンは、被エッティング面積の大きい部分8には設けない(図10(a))。そして各実施例と同様に深掘り加工を行うと、部分8にのみ大きな凹部51が形成される(図10(b))。次に他の部分にもAlマスク4のパターンを形成すると共に凹部内部もAl薄膜4で覆い(図10(c))、再び深掘り加工を行い、凹部52を形成(図10(d))、さらに反対面からの浅掘り加工で貫通孔53を形成することにより歯式アクチュエータを得る(図10(e))。

【0018】以上の図8、図9、図10に示した実施例においても、上述のようにAlマスク4を片面、あるいは両面共シリコン酸化膜マスク2に置き換えてよいことは勿論である。

## 【0019】

【発明の効果】本発明によれば、SF<sub>6</sub>とO<sub>2</sub>混合ガスを用いたドライエッティングにより加工することにより、反応生成物が残留せず、垂直な側壁をもつ凹部ないし貫通孔が形成できるため、狭い間隙を介する可動電極と固定電極とが組合わされる歯式アクチュエータを、一つのシリコン基板から組み合わされた状態で任意の大きさ、形状で作りだすことができ、設計に余裕が生じるので、センサやマイクロマシンの制作要求に応じた歯式アクチュエータの小型化が可能になる。さらにシリコン酸化膜をエッティングストップ層として用いることにより、より高精度の加工も期待できる。また、大口径のシリコンウエーハから均一に多数のアクチュエータが同時に作成できるので、低価格化も達成できる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例のシリコン基板加工工程を(a)～(c)の順に示す断面図

【図2】歯式アクチュエータの概要を示す斜視図

【図3】従来のシリコン基板加工工程を(a)～(c)の順に示す断面図

【図4】従来の別のシリコン基板加工工程を(a)～(c)の順に示す断面図

【図5】本発明の実施例に用いるドライエッティング装置の断面図

【図6】本発明の別の実施例のシリコン基板加工工程を(a)～(c)の順に示す断面図

【図7】本発明の別の実施例のシリコン基板加工工程を(a)～(c)の順に示す断面図

【図8】本発明の別の実施例のシリコン基板加工工程を(a)～(c)の順に示す断面図

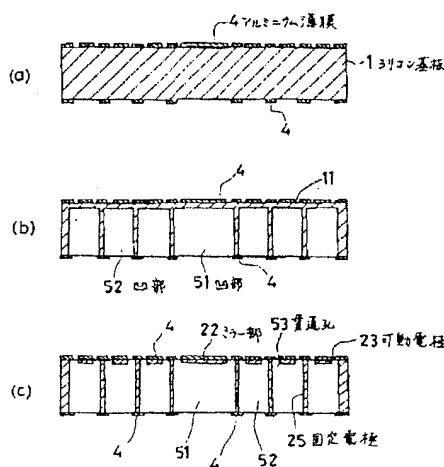
【図9】本発明の別の実施例のシリコン基板加工工程を(a)～(d)の順に示す断面図

【図10】本発明の別の実施例のシリコン基板加工工程を(a)～(e)の順に示す断面図

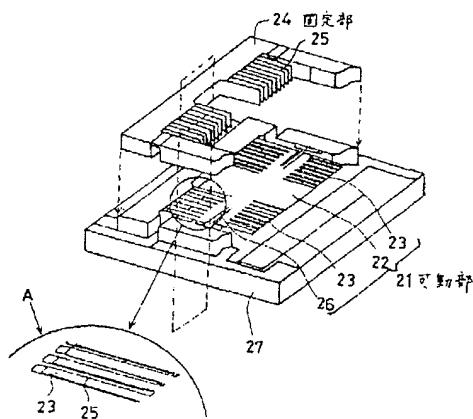
## 【符号の説明】

1	シリコン基板
2	シリコン酸化膜
21	可動部
22	ミラー部
23	可動電極
24	固定部
25	固定電極
4	アルミニウム薄膜
51	凹部
52	凹部
53	貫通孔
6	単結晶シリコン層
7	多結晶シリコン層

【図1】



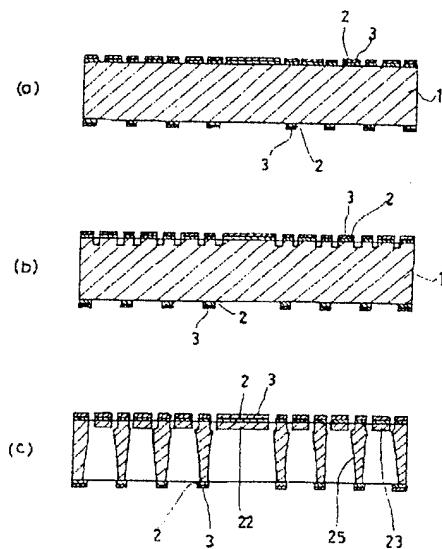
【図2】



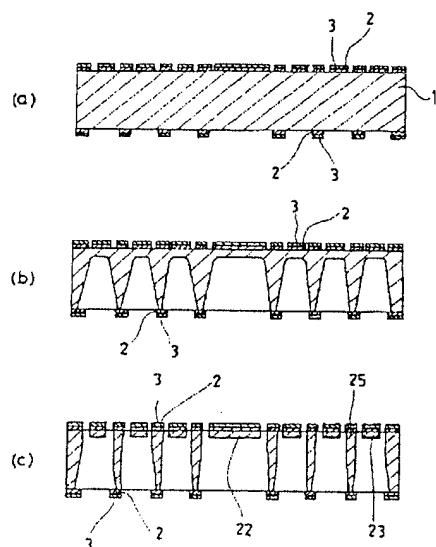
( 6 )

特開平5-302182

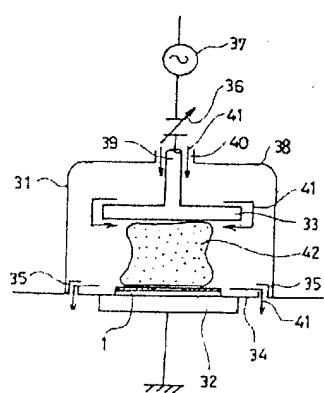
【図3】



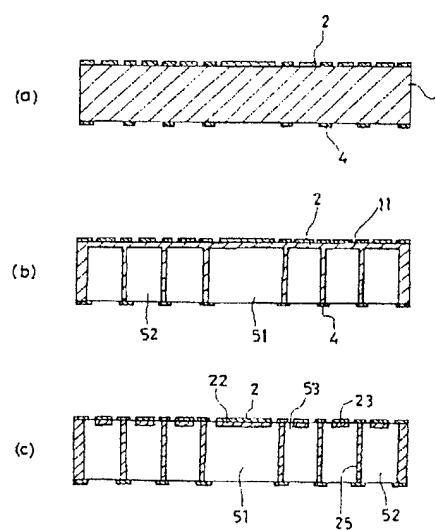
[図4]



[図5]



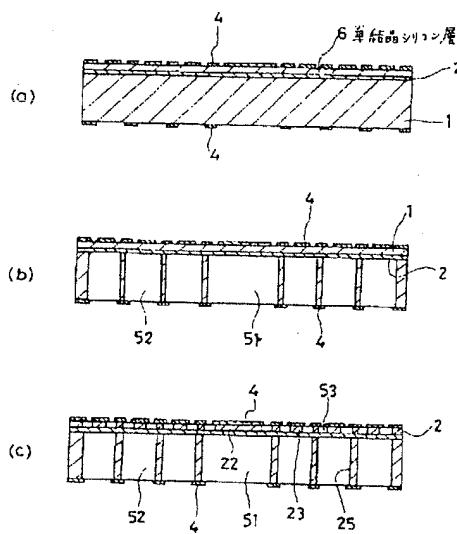
[图 6]



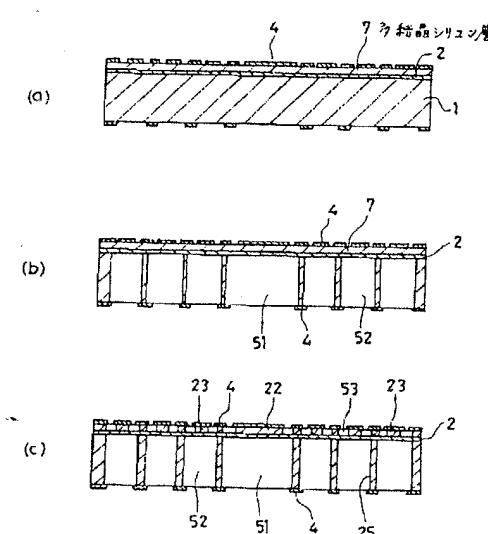
( 7 )

特開平5-302182

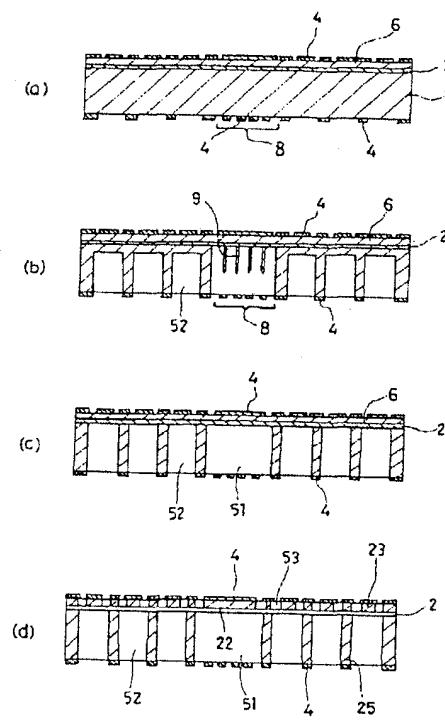
〔図7〕



[図8]



[図9]



[図10]

